

Jani Siltala

MIKROTUOTANNON LIITTÄMINEN JÄRVI-SUOMEN ENERGIAN SÄHKÖVERKKOON

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 3.5.2013	
Tekijä(t) Jani Siltala		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Mikrotuotannon liittäminen Järvi-Suomen Energian sähköverkkoon			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laatia yhtenäinen ja kattava tietopaketti mikrotuotannon liittämiseksi yleiseen sähköjakeluverkkoon. Nykypäivänä mikrotuotannon käyttäminen on hyvin yleistä kallistuneen sähkön hinnan johdosta. Tämän myötä aloin tutkia mitä vaatimuksia asiakkaan täytyy ottaa huomioon ostaessaan mikrotuotantolaitteistoa.</p> <p>Työssä esitellään erilaisia mikrotuotannon muotoja ja tutustutaan erilaisiin tapoihin tuottaa sähköä pienimuotoisesti. Lisäksi työssä esitellään erilaiset tekniset vaatimukset, ohjeet sekä periaatteet laitteiston liittämistä yleiseen sähköjakeluverkkoon. Vaatimukset ja ohjeet on laadittu annettujen verkostosuosituksen ja viranomais määräysten perusteella.</p> <p>Tällä hetkellä sähkön mikrotuotannon tulevaisuus näyttää Suomessa valoisalta, koska sähkön hinnat ovat jatkuvasti nousussa. Tällöin erilaisia näkemyksiä sähkön tuottamiseen täytyy koko ajan kehittää. Sähkön mikrotuottajan kannattaa olla yhteydessä verkonhaltijaan jo suunnitteluvaiheessa liittämistä koskevissa käytännön asioiden ja mahdollisten liittymiskustannuksien johdosta.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Mikrotuotanto, aurinkoenergia, tuulienergia			
Sivumäärä 35	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka		Opinnäytetyön toimeksiantaja Suur-Savon Sähkö Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 3.5.2013	
Author(s) Jani Siltala		Degree programme and option Electrical Engineering	
Name of the bachelor's thesis Connecting the micro production of Järvi-Suomi Energia electricity network			
Abstract <p>The aim of this study was to provide comprehensive information on the micro-generation connection to the public electricity supply. Today, the use of micro-generation is very common because of the growing electricity prices. This study deals with the requirements that must be taken into account when purchasing micro-generation equipment.</p> <p>This work presents different forms of micro-generation and explores different ways of producing electricity small-scale. This work also outlines the different technical requirements, guidelines and principles of the hardware connected to the public electricity supply. Requirements and guidelines have been drawn up on the basis of a network recommendations and regulations of the authorities.</p> <p>At the moment the future of micro-generation use in electricity in Finland looks bright, because the electricity prices are growing all the time. This is why different views on the generation of electricity must be constantly developed. Micro electricity producer should contact the owner of the network already at planning stage, concerning the practical issues and the potential connection costs.</p>			
Subject headings, (keywords) Micro-generation, solarpower, windpower			
Pages 35	Language Finnish		URN
Remarks, notes on appendices			
Tutor Arto Kohvakka		Bachelor's thesis assigned by Suur-Savon Sähkö Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SUUR-SAVON SÄHKÖ OY	1
3	MIKROTUOTANNON MÄÄRITTELY.....	3
4	SÄHKÖNPIENTUOTANNON MUOTOJA.....	4
4.1	Tuulivoimala	4
4.1.1	Tuulivoimalan rakenne	4
4.1.2	Tuulivoimalatyypit.....	6
4.2	Tuulivoimalan kannattavuus.....	9
4.3	Aurinkovoimala	10
4.4	Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus	13
5	TEKNISET VAATIMUKSET TUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMISEKSI SÄHKÖNJAKELUVERKKOON	17
5.1	Sähkömarkkinalaki.....	17
5.2	Energiateollisuus Ry	18
5.3	Sähkön laatua koskevat standardit	18
5.4	Tuotantolaitosten luokittelu	18
6	MIKROTUOTANTOLAITOKSIEN HAASTEET	23
6.1	Verkkoyhtiön velvollisuudet	23
6.2	Vaaditut tekniset tiedot ja käyttöönottopöytäkirjat verkostonhaltijalle	23
6.3	Loss of Mains -suojaus.....	25
6.4	EMC-vaatimukset	26
6.5	Hinnoitteluperiaatteet mikrotuotantolaitoksissa	26
6.6	Laitoksen erottaminen ja työturvallisuus sähköverkossa	27
6.7	Ennakkotietolomake, toimintamatriisi ja käyttöönottotarkastuspöytäkirja	28
7	SÄHKÖN PIENTUOTANNON TULEVAISUUS SUOMESSA	29
7.1	Syöttötariffijärjestelmän käyttöönotto Suomessa	29
7.1.1	Työryhmän ehdotus	29
7.1.2	Käyttöönotettava syöttötariffi.....	30
8	PÄÄTÄNTÖ	31
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Sähkön pientuotanto, joka myös tunnetaan nimellä hajautettu tuotanto, on nykyisin erittäin suuressa roolissa suomalaisissa sähköjakeluverkoissa. VTT eli Valtion teknillinen tutkimuskeskus on myös tehnyt aiheesta useita tutkimuksia. Lisäksi Energiateollisuus Ry on julkaissut suosituksia koskien pientuotannon jakeluverkkoon liittämistä.

Suurella todennäköisyydellä on odotettavissa, että mikrotuotannon osuus sähköntuotannosta kohoaa edelleen myös Suomessa. Tämä johtuu muun muassa EU:n (Euroopan unioni) asettamista uusiutuvan energian lisäys- ja ilmastotavoitteista, jotka asettavat lisävaatimuksia verkon suunnittelun kannalta. Asiaan vaikuttaa myös pienikokoisten energiantuotantolaitosten hintojen aleneminen, ihmisten kulutusta ohjaava ympäristötietoisuus sekä sähkönkuluttajien halu seurata omaa sähkönkulutusta reaaliajassa. Nämä edellä mainitut tekijät ovat vaikuttaneet siihen, että mahdollinen kiinnostus mikrotuotantoa kohtaan on kasvanut suuresti viime aikoina.

Sähkön mikrotuotannon lisääntymisessä verkkoyhtiöillä on sekä tehtävänä että haasteena kehittää sähköjakeluverkkoa siten, että ne kykenevät tarjoamaan sähkön mikrotuotannolle vakaan ja luotettavan verkon.

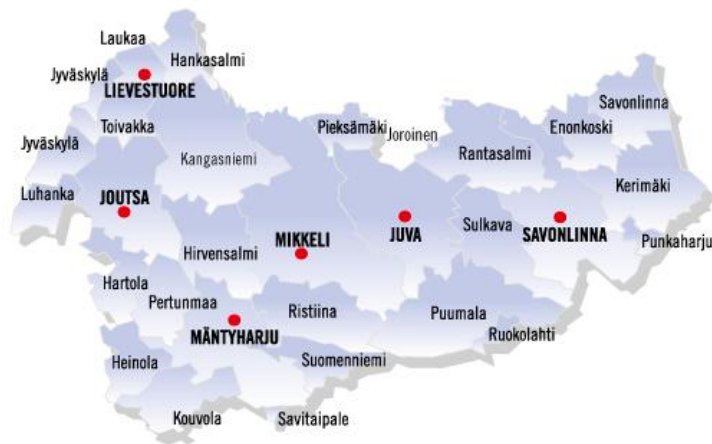
Tämän insinöörityön tavoitteena on tutkia ja kerätä erilaisia mikrotuotannon muotoja ja määritelmiä. Lisäksi työssä esitetään jakeluverkkoyhtiön vaatimat tekniset vaatimukset ja reunaehdot tuotantolaitoksen liittämiseksi sähköjakeluverkkoon, jotka on laadittu valmiiksi annettujen suositusten ja viranomaismääräysten pohjalta.

2 SUUR-SAVON SÄHKÖ OY

Opinnäytetyöni toimeksiantaja on Järvi-Suomen alueella toimiva energiayhtiö, Suur-Savon Sähkö Oy. Tämän luvun tiedot on otettu Suur-Savon Sähkö Oy:n verkkosivuilta ”www.sssoy.fi”.

Suur-Savon Sähkö Oy on vastannut useiden kymmenien vuosien ajan Päijänteen itäpuolisen alueen energian hankinnasta, tuotannosta ja jakelusta. Suur-Savon Sähkö Oy:n toimialue on hyvin laaja, joka on nähtävillä kuvasta 1. Tällä hetkellä Suur-Savon

Sähköllä on yli 270 työntekijää, joista suurin osa työskentelee energiantuotannon sähkö- ja kaukolämpöverkon rakentamisen ja ylläpidon ammattilaisina.



KUVA 1. Suur-Savon Sähkö Oy:n toimialue

Suur-Savon Sähkö Oy on konsernin emoyhtiö, joka omistaa pääosan konsernin omaisuudesta. Sähköverkko on vuokrattu sähkönsiirtotoimintaa harjoittavalle tytäryhtiölle Järvi- Suomen Energia Oy:lle, joka huolehtii Suur-Savon Sähkö- konsernin alueella sähköenergian jakelusta. Näkyvin osa Suur-Savon Sähkö- konsernia on Suur-Savon Sähkötyö Oy, joka vastaa sähköjakelu sekä viestiverkon rakentamisesta ja korjaustoiminnasta. Suur-Savon Sähkö Oy:n konsernikaavio on nähtävillä kuvassa 2.



KUVA 2. Suur-Savon Sähkö Oy:n konsernikaavio [5.]

Tulevien vuosien ennustamista vaikeuttaa Euroopan heikohko taloustilanne ja se, kuinka talousahdinkoon joutuneiden maiden pelastaminen onnistuu. Euroopan taloustilanne näkyy myös Suomen talouden epävarmuudessa; päädytäänkö useamman vuo-

den lamaan vai talouden hitaaseen hiipumiseen. Uusien sähköliittymien määrään vapaa-ajan asunnot mukaan lukien ei odoteta lähitulevaisuudessa kovin suurta kasvukehitystä.

Vuonna 2012 käynnistyivät kaapelointihankkeet taajamien sähköjakelun varmistamiseksi. Vuonna 2012 konsernin liikevaihto odotettiin olevan 181,86 milj. euroa, mikä on 3,3 % enemmän kuin vuonna 2011. Kokonaisuudessaan mitään erityistä tai suurempaa muutosta liiketoimintojen kannalta ei ole tulossa lähivuosina.

3 MIKROTUOTANNON MÄÄRITTELY

Mikrotuotanto on sähköntuotantomuoto, joka on tarkoitettu ensisijaisesti asiakkaiden omaan käyttöön. Mikrotuotantoa ovat lähinnä yksityisten kuluttajien tai pienyritysten hankkimat pienet sähköntuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmään.

Mikrotuotantoa varten ei tarvitse rakentaa tai vahvistaa sähköverkkoa, mikäli tuotanto liitetään sähkönkulutuspaikan yhteyteen ja liitettävä teho jää kulutuspaikan tehoa pienemmäksi. Verkkoa voidaan joutua vahvistamaan, jos tuotantoteho ylittää kulutusliittymän koon. Mahdolliset verkonvahvistustoimet on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa.[16.]

Mikrotuotanto tarkoittaa yksivaiheista nimellisteholtaan enintään 3,7 kVA sähköntuotantoyksikköä, mikä tulee ensisijaisesti omaan käyttöön ja sähkön syöttö on vähäistä verkonhaltijan jakeluverkkoon. Tällä hetkellä yleisimpiä mikrotuotantolaitoksia ovat tuulivoimalat, aurinkovoimalat ja pienet biopolttolaitokset, jotka on kerrottu tarkemmin luvussa 4.[16.]

4 SÄHKÖNPIENTUOTANNON MUOTOJA

Mikrotuotanto on sähkötuotantoa, joka on tarkoitettu ensisijaisesti omaan käyttöön tai verkkoon syöttö on satunnaista. Tällaisissa tuotantomuodoissa verkkoon syöttö ei ole ensisijainen sähköntuotantomotiivi. Mikrotuotantoa ovat lähinnä yksityisten tai pienyritysten hankkimat pienet sähkötuotantolaitokset, jotka liitetään heidän kulutuskohteensa sähköjärjestelmiin. Alla esittelen yleisimmät tuotantolaitostyytit, joihin kuuluvat tuulivoimalat, aurinkovoimalat sekä pienet biopolttolaitokset.

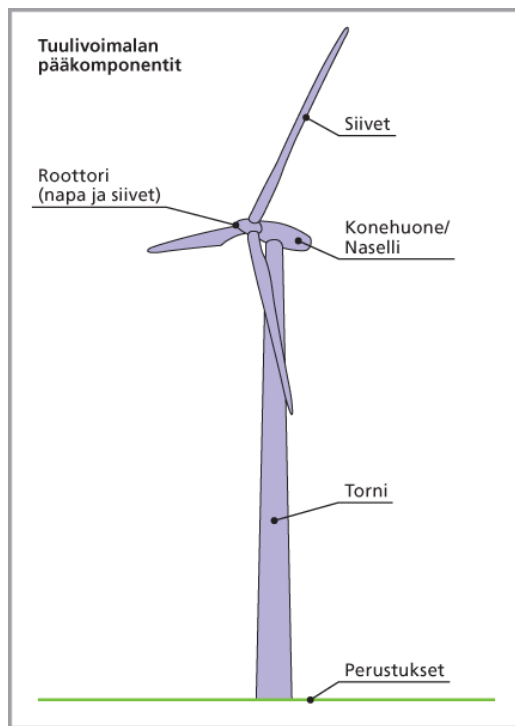
4.1 Tuulivoimala

Tuulivoimassa muunnetaan tuulen liike-energiaa sähköksi. Tuulivoima on puhdas ja uusiutuva energiantuotantotapa. Tuulen liike-energia on alun perin epäsuorasti peräisin auringosta.

Tuulen energia muutetaan sähköenergiaksi tuuliturbiinissa. Turbiinin lisäksi moderniin tuulivoimalaitokseen kuuluu generaattori, vaihteisto, voimalan perustukset ja masto. Tuuliturbiinin akseli pyörii tuulen voimasta, mikä edelleen pyörittää generaattoria. Vaihteistolla säädetään roottorin pyörimisliike generaattorille sopivaksi. Voimalan perustuksen pääasiallinen tehtävä on kantaa tuulivoimalan ja tornin paino. Lisäksi perustusten täytyy kestää vaakasuuntaista rasitusta, jota syntyy voimakkaan tuulen puhaltaessa. Mastolla taas hyödynnetään tuulen antaman energian moninkertaisesti. Tuulivoimatekniikan avulla voimaloita pyritään kehittämään entistä tehokkaammiksi ja luotettavammiksi. [1.]

4.1.1 Tuulivoimalan rakenne

Tuulivoimala koostuu roottorista, konehuoneesta, joka sisältää vaihteet ja generaattorin, sekä tornista ja perustuksista. Kuvassa 3 on esitetty kyseiset komponentit.



KUVA 3. Tuulivoimalan pääkomponentit [17]

Torni ja perustukset

Euroopassa käytetyin tyyli on rakentaa putkirakenteinen teräsputki, joka on kiinnitetty betonista valettuun perustukseen. 500-1650kW voimaloissa tornin korkeus on yleensä 50 – 90 metriä. Nykyään voimaloiden koko kasvaa koko ajan eli yli 100 metrin tornit eivät ole mitään harvinaisia ilmentyksiä. Suomessa ollaan ottamassa käyttöön hybridi-rakenteisia torneja. Hybriditornista 50 metriä on betonia ja loput terästä. [3.]

Konehuone

Tuulivoimalassa on myös konehuone, jossa sijaitsevat säätö- ja ohjausjärjestelmät, generaattori ja vaihteisto. Vaihteistolla roottorin matala kierrosluku muutetaan generaattorilla sopivaksi eli noin 1000 – 1500 rpm, joka on yleensä noin 10–40 rpm (kierrosta minuutissa). Generaattoreina käytetään yleensä epätahtigeneraattoria, jonka pyörimisnopeus määräytyy sähköverkon taajuudesta. Konehuonetta käännetään tuulen suuntaan erillisillä moottoreilla suunta-antureiden ja säätölaitteen avulla. Konehuoneen rungon ja kuoren valmistamiseen käytetään yleensä terästä tai lasikuitua. [3.]

Roottori

Roottori pyörittää tuulivoimalan generaattoria. Vakiintunut tuulivoimala malli sisältää kolme siipeä, mutta myös yhden ja kahden siiven roottorit ovat mahdollisia. Tuulta pystytään hyödyntämään sitä paremmin, mitä herkempiä tuulivoimalan siivet ovat pyörimään.[17]

Roottoreiden lavat valmistetaan yleensä komposiittimateriaaleista, joissa käytetään lasikuitua, hiilikuitua tai puuta yhdessä epoksin tai polyesterin kanssa. Roottorin lavat toimivat yleensä myös voimalan pysäytys- ja tehonsäätömekanismina. Tehon säätäminen perustuu yleensä joko sakkaukseen tai lapakulman säätämiseen. Koko voimalan pysäyttämiseen käytetään karkijarruja tai lapojen kääntämistä pois tuulesta. Voimaloissa on myös toinenkin pysäytystapa, se toimii levyjarrujen avulla joko hitaalla tai nopealla akselilla tai myös molemmilla. Yleensä levyjarru on nopealla akselilla. [3]

4.1.2 Tuulivoimalatyypit

Tuulivoimaloissa käytettyjä turbiineja on useita. Tuulivoimalat jaetaan kahteen eri päätyyppiin pysty- ja vaaka-akselisiin voimaloihin. Myös turbiinissa olevien lapojen määrä vaihtelee molemmissa päätyypeissä.

Pystyakseliset voimalat

Pystyroottorin pyyhkäisypinta-ala on roottorin suurin tuulta vastaan kohtisuora pinta - ala. Napakorkeus mitataan roottorin pyyhkäisypinta-alan keskipisteestä maahan. Pysty-akselinen tuulivoimala ei tarvitse erillistä suuntausta tuulen suunnan mukaan, vaan se toimii samalla tavalla riippumatta tuulen suunnasta. Kuvassa 4 on esitetty pystyakselinen tuulivoimala. [2.]



KUVA 4. Pysty-akselinen tuulivoimala [2]

Vaaka-akseliset voimalat

Vaaka-akselisen tuulivoimalan pyyhkäisy pinta-ala muodostuu potkurin lapojen kärjen piirtämän ympyrän pinta-alasta. Napakorkeus mitataan potkurin akselin etäisyydestä suoraan maahan. Vaaka-akseliset tuuliturbiinit suunnitellaan siten, että ne sopivat tietylle tuulennopeus alueelle parhaiten. Tuulen nopeuden ollessa suunnitellulla alueella voimala tuottaa enemmän sähköä. Vaaka-akselisten turbiinien etuna pystyakselisiin verrattuna on roottorin suurempi pyyhkäisy pinta-ala. Silloin tuulen liikeenergiasta saadaan kerättyä enemmän energiaa hyötykäyttöön. Myös tehokerroin on parempi potkurimallisella keskisuurilla tuulennopeuksilla, jos sitä verrattaisiin pystyakselisiin turbiineihin. Yleisesti käytetyin tyyppi onkin vaaka-akselinen kolmelapainen tuulivoimalamalli. Kuvassa 5 on esitetty vaaka-akselinen tuulivoimala. [2.]



KUVA 5. Vaaka-akselinen tuulivoimala [4]

Monet ovat myös ihmetelleet kolmilapaisia tuulivoimaloita. Voimalan lapaluku määräytyy ensisijaisesti kärkinopeussuhteen kautta. Kärkinopeussuhde yhdessä lavan nostovoimakertoimen kanssa määrittelevät lapojen yhteen lasketun leveyden suhteen koko pyörähdyspinta-alaan eli pyyhkäisy pinta-alaan. Hitaasti pyörivässä voimalassa lapojen yhteinen leveys on suuri ja nopeasti pyörivässä pieni. Esimerkiksi kaivomyllyssä suhde saattaa olla jopa yksi eli koko pyörähdyspinta-ala täytetään siivistöllä.

Monilapaisia voimaloita, jossa on kuusi tai useampi lapa, käytetään yleensä kaivopumppuina. Nelilapaisia käytetään viljan jauhamiseen. Voimaloita, joissa on yhdestä kolmeen lapaa, käytetään energian tuotantoon.

Kolmilapainen potkuri on pyörähdyssymmetrisesti tasapainossa ja massahitusvoimat ovat tasapainossa kaikkien akseleiden suhteen. Tämän lisäksi voimala on visuaalisesti miellyttävän näköinen. Mikäli voimalassa on vähemmän kuin kolme lapaa, aiheuttaa tuuleen käännettäessä koneistoa rasittavaa värinää, joka johtuu massahitusvoimien eroista vaaka- ja pystyakselin suhteen. Tuuleen käännettäessä kaksi tai yksilapaisessa potkurissa kääntö sujuu kevyesti, kun lapa on pystyssä, mutta estyy lähes kokonaan, kun lapa on vaaka-asennossa. Tämä on samanlainen ilmiö kuin piruetissa, jossa esiintyjä pyörii hyvin nopeasti, kun kädet ovat vartalossa kiinni tai pyörintäakselilla, mutta

pyöriminen lähes pysähtyy, kun hän levittää kätensä. Enemmän kuin kolme lapaa maksaa enemmän kuin kolme, mutta ei anna enempää tuottoa. [3.]

4.2 Tuulivoimalan kannattavuus

Tuulivoiman investointikustannukset ovat noin 1000 eur/kW yleisesti. Jos tuulivoimalan huipunkäyttöaika on 2500 tuntia, tulee investointikustannuksiksi vuosituotantoa kohti noin 400 eur/MWh. Mikäli pitoaika on 30 vuotta ja laskentakorko 5 % (annuiteetti 6,5 %), saadaan tuulivoimalan pääomakustannuksiksi 26 eur/MWh. Kun tähän lisätään tuulivoiman käyttökustannukset, päädytään arvoon noin 28 - 30 eur/MWh.

Tuulivoima alkaa olla jo kannattava investointi Suomenkin oloissa. Tuulivoima ei kuitenkaan riitä ainoaksi energialähteeksi, koska se vaatii runsaasti varatehoa ja säätövoimaa. Jos varavoimalana toimii vesivoimala, niin tuulivoimaa kannattaa rakentaa lähes yhtä paljon kuin vesivoimaa on käytettävissä. Saaristossa yleensä tuulivoimalan lisäksi joudutaan investoimaan noin 400 - 500 eur/kW dieselvoimalaan, joka tuottaa sähköä silloin, kun tuulivoimala seisoo. Näin itsenäisen tuulienergialla toimivan järjestelmän kokonaisinvestointi nousee arvoon 1400 - 1500 eur/kW. [22.]

Tuulivoimaloiden yhteydessä vuotuinen huipunkäyttöaika kuvaa sen ajan pituutta, joka kuluisi vuodessa tuotetun energian tuottamiseen, mikäli tuulivoimala toimisi koko ajan nimellistehollaan. Esimerkiksi 2500 tunnin huipunkäyttöaika ei merkitse sitä, että laitos tuottaa 2500 tuntia ja seisoo loppuajan vuodesta, vaan sitä että laitos on tuottanut vuoden aikana energiamäärän, jonka laitos tuottaisi toimiessaan nimellistehollaan 2500 tuntia. Mikäli tuulivoimalan vuotuinen huipunkäyttöaika on yli 2400 tuntia, on laitos tuottanut hyvin.

Jos tuulivoimalan huipunkäyttöajaksi on saatu 2400 h, kapasiteettikerroin on

$$C_p = \frac{2400}{8760} \approx 27,4\% . [23.]$$

4.3 Aurinkovoimala

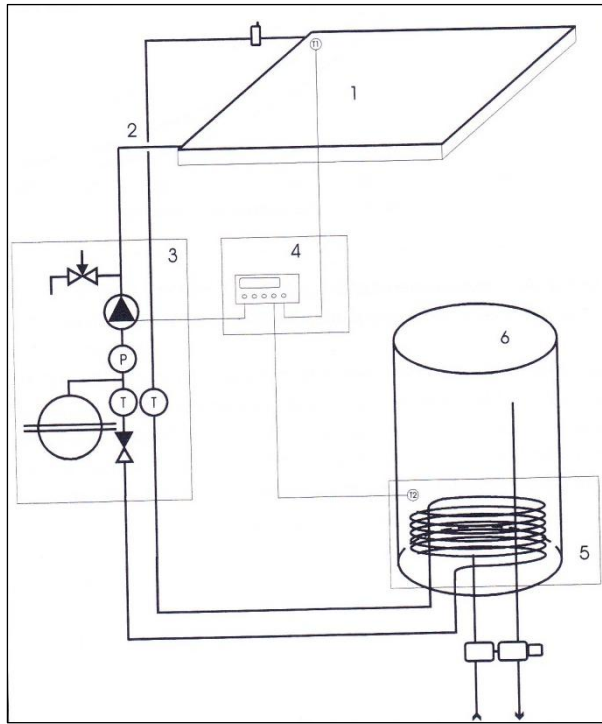
Aurinko on tähti, joka tiivistyi noin 5 miljardia vuotta sitten tähtienvälisen aineen pilvistä. Auringon elinikää on arvioitu olevan vielä noin viisi miljardia vuotta. Aurinko koostuu seuraavista aineista: vedystä (71 %), heliumista (27 %) ja muista aineista (2 %).

Auringon energia koostuu fuusiosta eli toisin sanoen lämpöydinreaktiosta, kun neljästä vetyatomista muodostuu vain yksi heliumatomi. Tällöin fuusiosta ylijäänyt massa muuttuu osittain energiaksi. Auringon lämpötilassa noin 10 miljoonassa asteessa tapahtuvat fuusiot tuottavat auringolle $3,8 \times 10^{23}$ kW ominaistehon. Tästä säteilee maapallolle $1,7 \times 10^{14}$ kW. Tämä määrä on 20 000 kertaa enemmän kuin ihmiskunnan tämänhetkinen energiankulutus.

Auringosta saatava energia on säteilyn lämpö- ja valoenergiaa. Säteily sisältää kaiken sähkömagneettisen säteilyn spektrin. Tästä energiasta noin 19 prosenttia imeytyy ilmakehään. Myös pilvet estävät säteilyn pääsyä maahan. Suomessa pääsee maahan asti noin 200 W/m^2 .

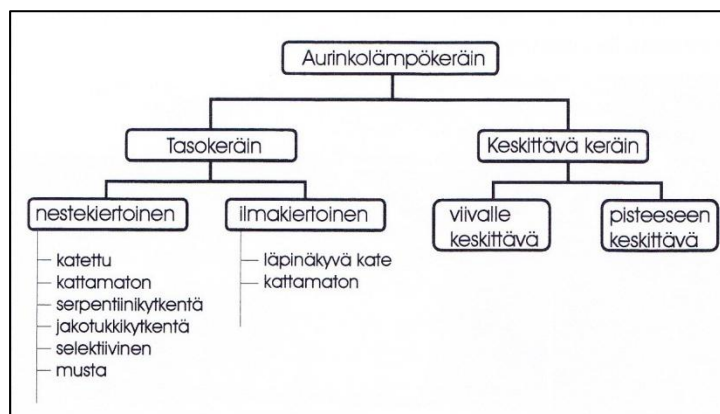
Aurinkoenergia on ekologista energiaa, sitä ei rasita polttoainekustannukset eikä sen käytöstä synny yhtään hiilidioksidia. Myös jätteiden määrä on pieni lukuun ottamatta käyttöön tarvittavien laitteiden valmistusta ja kierrätystä. [6.]

Aurinkovoimalan tärkeimmät pääosat ovat aurinkokeräin, varaaja, lämmönvaihdin, putkisto, pumppuyksikkö sekä säädin (kuva 6). Aurinkokeräin ottaa talteen auringon energian, tämä siirretään sähköisen pumpun voimalla ja säätimen ohjauksen mukaisesti putkistoa pitkin varaajaan odottamaan hyödyntämistä. [7,s.30]

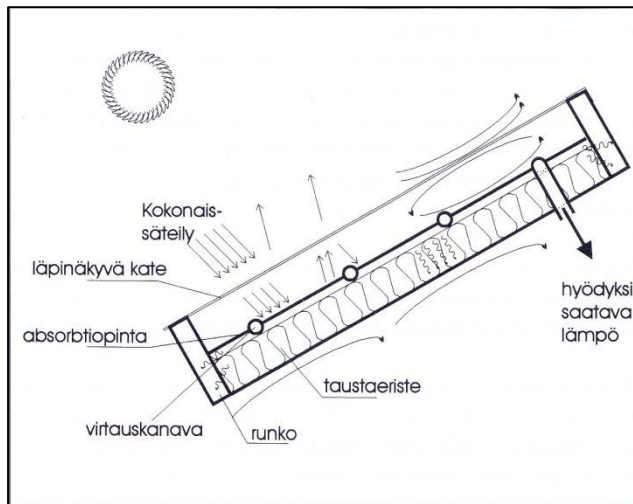


KUVA 6. Aurinkovoimalan osat [7, s.30]

Keräimen rakenne sekä sen ominaisuudet suunnitellaan yleensä käyttökohteen mukaisesti. Yleensä käytetään nestekiertoista tasokeräintä. Tavallisesti tasokeräin suunnitellaan toimimaan lämpimän käyttöveden tuottamisen tai rakennusten lämmitysjärjestelmän yhteydessä. Tällöin keräimen rakenteisiin kuuluvat absorbaattori eli keräimen pinta, taustan lämpöeriste, runko ja läpinäkyvä kate. Aurinkokeräinten luokittelu on esitelty kuvassa 7. [7]



KUVA 7. Aurinkokeräinten luokittelu [7,s.31]

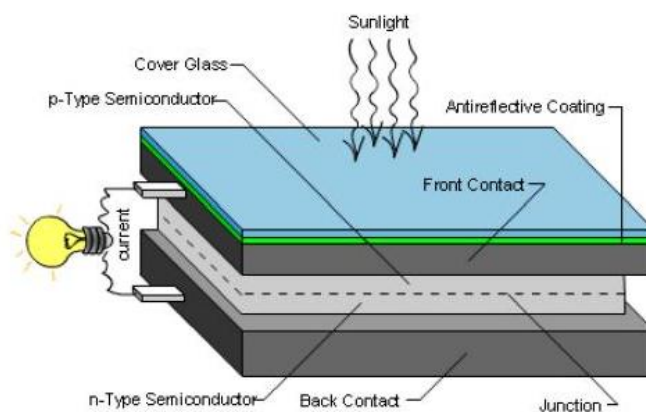


KUVA 8. Keräimen rakenne ja lämpöhäviöt [7,s.31]

Kullakin keräimen osalla on oma tehtävänsä ja oma vaikutuksensa keräimen tuottaman energian määrään. Monesti keräinten komponentit toimivat ja vaikuttavat tuottoon osittain ristiriitaisesti, mahdollisesti kokonaisuutta ajatellen pitää punnita tarkasti kaikki eri vaihtoehdot. [7, kuva 8]

Aurinkokennon sisältö koostuu kahdesta yleensä tasaisesta puolijohdekerroksesta, joita erottaa niin sanottu rajapinta. Näiden kerrosten sisäänrakennetut ominaisuudet eroavat toisistaan hiukan toisistaan. Rajapinnan toisella puolella on n-tyyppinen ja toisella p-tyyppinen puolijohde. Elektronit siirtyvät rajapinnan toiselle puolelle ja jättävät taas aukkoja pinna toiselle puolelle. Näin kennoon syntyy sisäinen sähkökenttä kerroksien yli. Kuvassa 9 on esitetty tärkeimmät aurinkosähkökennon osat.

Aurinkosähkökenno



Lähde: The California Energy Commission

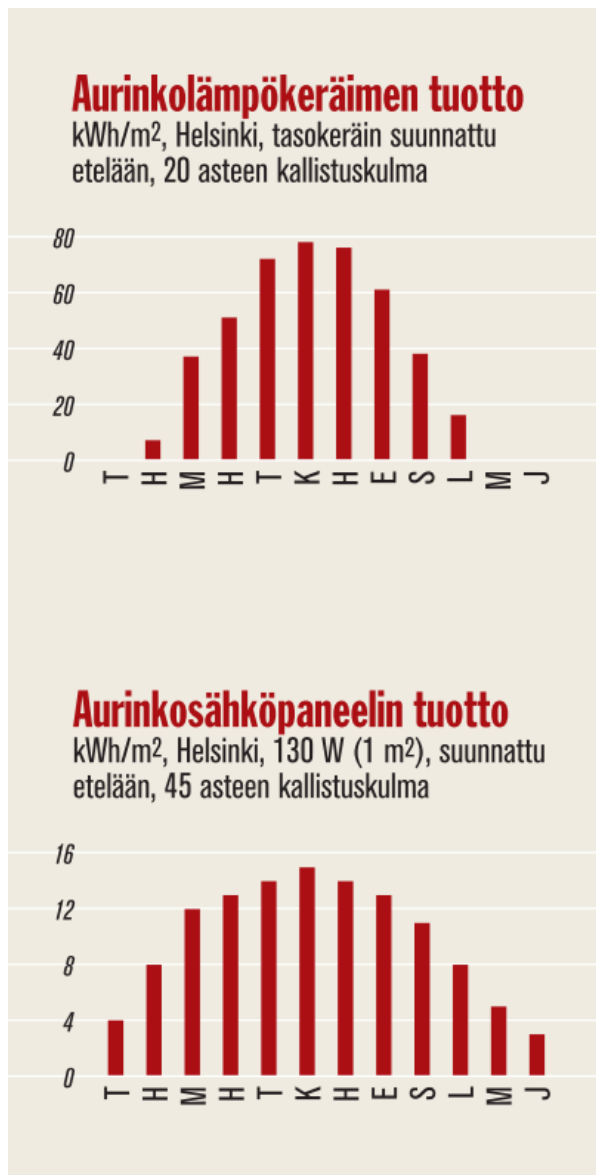
KUVA 9. Aurinkosähkökennon osat

Valo synnyttää puolijohdemateriaalissa elektroniaukko-pareja, jotka kennon sisäisen sähkökentän vaikutuksesta voidaan erottaa toisistaan ja käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan. Elektroneja irrottaa auringonvalo ja metallijohtimiin saadaan sähkövirta. Aurinkosähkökennon koko on tavallisesti noin $10 \times 10\text{--}15\text{ cm}$ ja paksuus $0,1\text{--}0,4\text{ mm}$. Valaistuna se tuottaa noin $0,5\text{ V:n}$ tasajännitteen. Virtaa saadaan näin sekä säteilytehon että kennon pinta-alan mukaan. [24.]

4.4 Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuus

Monet kuvittelevat, ettei täällä Suomessa aurinkovoimala kannata. Pimeästä talvesta huolimatta auringonsäteilyn määrä Suomessa on lähes samaa luokkaa kuin Keski-Euroopassa, kuten esimerkiksi Saksassa, missä aurinkoenergiaa hyödynnetään paljon. Etelä-Suomessa jokainen neliömetri vastaanottaa vuoden aikana vaakatasossa lasketuna noin 1000 kilowattituntia auringonsäteilyä. Keski-Euroopassa määrä on noin viidenneksen suurempi.

Vaihtelut vuodenaikojen mukaan ovat toki Suomessa paljon suuremmat, kun meillä joulutammikuussa auringonsäteilyä ei ole juuri nimeksikään. Vaihtelut voidaan kuitenkin osin kompensoida tarkentamalla järjestelmän mitoitus ja suunnittelua. Pilvisellä säällä suora auringonsäteily on vähäistä tai olematonta. Silloin hyödynnetään auringon hajasäteilyä, eli pilvien läpi tunkeutunutta osaa auringonpaisteesta – se osa jonka me näemme valona. Kuvassa 10 on nähtävillä, kuinka paljon aurinkolämpöjärjestelmä voisi tuottaa energiaa ideaalisissa olosuhteissa Etelä-Suomessa, Helsingissä.



KUVA 10. Aurinkolämpöjärjestelmien tuotto

Aurinkopaneelin tuoton arviointiin on olemassa helppo nyrkkisääntö: aurinkopaneelin/aurinkopaneelien vuosituotto on $1000 \times$ aurinkopaneelin nimellisteho. Aurinkokennon huipunkäyttöaika Tampereella on vuodessa noin 900–1000 tuntia.

Huipunkäyttöaika tarkoittaa sitä, että Tampereen korkeudelle sijoitetusta aurinkokennosta saadaan vuoden aikana energiaa yhteensä määrä, joka vastaa kennon toimimista 900-1000 tuntia nimellistehollaan. Esimerkiksi 100 Wp nimellistehoinen aurinkopaneeli tuottaa Etelä-Suomessa vuodessa parhaimmillaan noin 100 kWh sähköä.

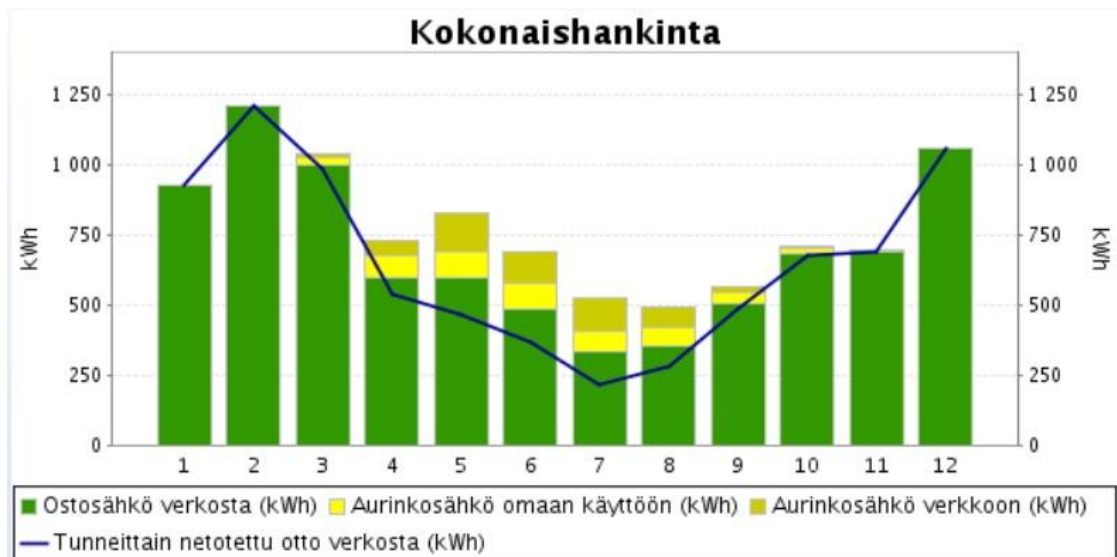
Aurinkosähköjärjestelmän tuotto jakautuu vuodenaikojen mukaan karkeasti seuraavasti:

- aurinkoisina kevät- ja kesäpäivinä aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa määrän, joka vastaa parhaimmillaan n. 6h toimintaa nimellisteholla
- puolipilvisinä kevät- ja kesäpäivinä sähköenergian tuotto vasta n. 3-5 h toimintaa nimellisteholla
- syys- ja talvipäivinä, jolloin aurinko näyttäytyy, sähköenergian tuotto vastaa n. 1-4 h toimintaa nimellisteholla.
- pilvisinä syys- ja talvipäivinä sähköenergian tuotto vastaa maksimissaan tunnin toimintaa nimellisteholla, tuotto on hyvin vähäistä tai paneelit eivät tuota lainkaan. [21.]

Edellä mainittuihin ideaalisiin tuloksiin esitän seuraavaksi todellisia mittaustuloksia Nollaenergia Kivitasku -talosta, joka sijaitsee Mäntyharjun loma-asuntomessualueella.

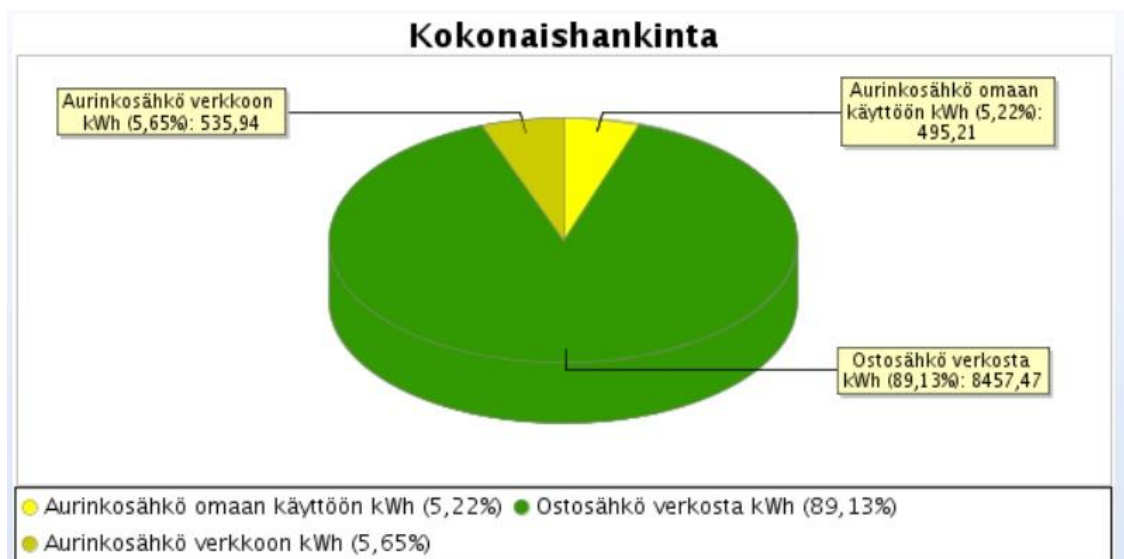
Energiatehokkuus on pientalorakentamisen polttava puheenaihe. Lainsäädäntö ja rakentamisen ohjeistus tiukentuvat sen osalta lähivuosina olennaisesti. Energiatehokkuuden vaatimusten kasvaessa tulevat kivitalon ominaisuudet korostumaan yhä enemmän. Kuitenkin alalta on puuttunut passiivirakentamisen kokonaisratkaisut, joissa huomioidaan sekä rakenne- että talotekniikka kokonaisuutena.[20.]

Kohteen aurinkosähköjärjestelmä on yksivaiheinen, joten ajoittain yksi vaihe syöttää verkkoon sähköä samanaikaisesti, kun kahden muun vaiheen kautta otetaan sähköä. Myös tuotannon ja käytön eriaikaisuudet aiheuttavat samalle tunnille antoa ja ottoa. Kuvissa 11–13 on esitetty vuoden 2012 sähkön kokonaishankinta.



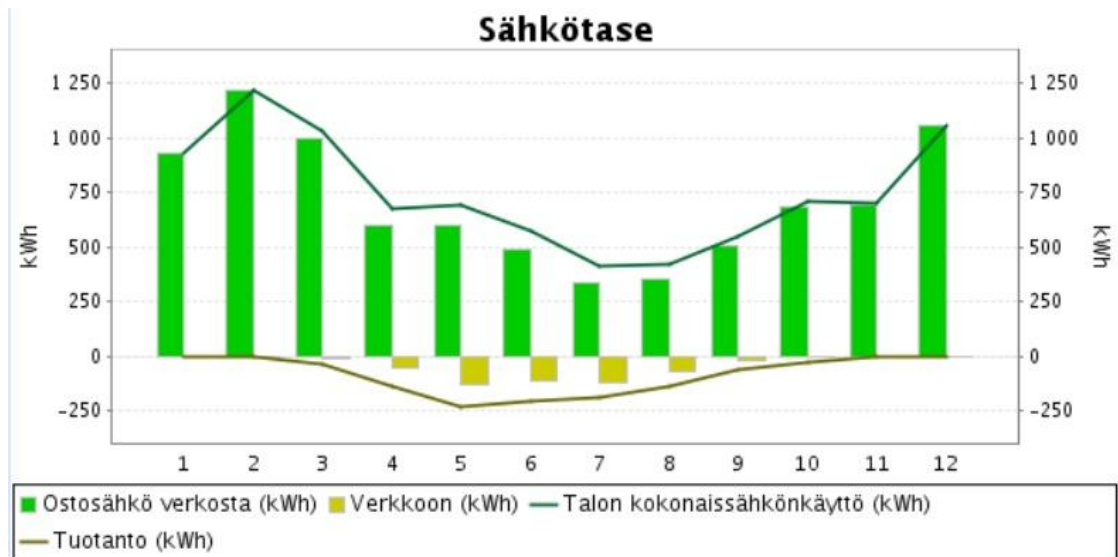
KUVA 11. Kivitasku sähkön kokonaishankinta

Kuvasta 11 huomataan hyvin, että ostosähkön osuus tipahtaa huomattavasti, kun auringon säteily voimistuu keväällä.



KUVA 12. Kivitasku sähkön kokonaishankinta

Kuten huomataan kuvasta 12, Kivitasku- talossa ostosähkön osuus on noin 89 % sekä loput tulevat aurinkosähköjärjestelmästä omaan käyttöön ja järjestelmä pystyy vielä syöttämään verkkoon osan tuottamastaan energiasta.



KUVA 13. Kivitasku- talon sähkötase

Edellä mainituista kuvista huomataan, miten aurinkolämpöjärjestelmät toimivat Pohjolan ankarissa ja vaihtelevissa olosuhteissa. Toisin sanoen kyseiset kuvat antavat erilaisia näkemyksiä kannattavuuteen.

5 TEKNISET VAATIMUKSET TUOTANTOLAITOKSEN LIITTÄMISEKSI SÄHKÖNJAKELUVERKKOON

Pienimuotoisen sähköntuotannon liittämiseksi paikallisen verkonhaltijan sähkönjakeluverkkoon on muodostettu paljon suosituksia ja erilaisia teknisiä vaatimuksia. Kyseisiä suosituksia ja vaatimuksia käsittelemme tämän luvun alaluvuissa: Sähkömarkkinalaki, Energiateollisuus Ry, Sähkön laatua koskevat standardit ja tuotantolaitosten luokittelu.

5.1 Sähkömarkkinalaki

Verkonhaltijan tulee ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoaan sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaisesti ja turvata osaltaan riittävän hyvälaatuisen sähkön saanti asiakkaille (verkon kehittämisvelvollisuus).

Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja sähköntuotantolaitokset toiminta-alueellaan (liittämisvelvollisuus). Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimus-

ten tulee olla tasapuolisia sekä syrjimättömiä ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuuden ja tehokkuuden vaatimat ehdot. Verkonhaltijan tulee julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset. [12.]

5.2 Energiateollisuus Ry

Energiateollisuus Ry on tehnyt muun muassa verkostosuosituksen pienimuotoisen mikrotuotannon verkkoon liittamisestä sekä myös muistion pienituotannon liittämistä yleiseen sähköjakeluverkkoon. Näiden julkaisujen ja suositusten tarkoituksena on käsitellä nykylainsäädäntöön, sopimusehtoihin sekä myös muihin ohjeisiin ja vaatimuksiin perustuvia periaatteita pientuotannon liittamisestä, jotka verkkonhaltijoiden tulisi huomioida lisätessään pienimuotoista tuotantoa verkkoon. Energiateollisuuden tekemät julkaisut ovat lähinnä tarkoitettu verkkonhaltijoiden omaan käyttöön, mutta niistä on myös apua pientuotantolaitosten jälleenmyyjille. Jälleenmyyjien olisi hyvä tutustua liittymisperiaatteisiin, jotta ne osattaisiin ottaa huomioon tuotteita markkinoissa.[12.]

5.3 Sähkön laatua koskevat standardit

Suomessa kaiken jakeluverkkoon syötettävän sähköenergian kuuluu täyttää SFS-EN 50160 -standardin asettamat vaatimukset yleisen sähköjakeluverkon jännitteen ominaisuuksista. Standardi määrittelee syötettävän sähköenergian pääominaisuudet liittymispisteessä eli kohdassa, jossa tuotantokohteen verkko liittyy yleiseen sähköjakeluverkkoon. [12.]

5.4 Tuotantolaitosten luokittelu

Jakeluverkkoyhtiöissä verkkoon liitettävät sähkön tuotantolaitteistot jaetaan viiteen eri luokkaan toimintaperiaatteen ja käyttötarkoitusten perusteella. Tällöin jokaiselle luokalle määritellään jakeluverkkoliittymistä koskevat ohjeet ja vaatimukset. Tuotantolaitteistojen luokittelut on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tuotantolaitteistojen luokat [8,s.2]

			Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus- ehdot	Yksin- syötön esto	Sopimus- ehdot
Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät tuotantolaitteistot	Rinnankäyttö estetty mekaanisella kytkimellä		Lk 1	x	-			LE05 VPE05
	Rinnankäyttö rajoitettu automaattisella syötönvaihdolla (kork. 5 s)		Lk 2	x	x	x	x	LE05 VPE05
Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvät tuotantolaitteistot	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty		Lk 3a	-	x	x	x	LE05 VPE05
	Sähkön siirto jakeluverkkoon sallittu	Tuottaja ei saa korvausta verkkoon siirtyneestä sähköstä (vain pienet	Lk 3b	-	x	x	x	LE05 VPE05
		Tuottaja myy sähköä muulle sähkökaupan markkinaosapuole lle	Lk 4	-	x	x	x	TLE05 TV- PE05

Luokka 1. Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvä tuotantolaitteisto: rinnankäyttö on estetty mekaanisella kytkimellä. Rinnankäynti tuotantolaitteiston jakeluverkon kanssa tulee olla estetty erotuskytkinvaatimukset täyttävällä mekaanisella vaihtokytkimellä, joka kytkee kuormitukset joko jakeluverkon tai tuotantolaitteiston syöttämäksi. Kytkimelle suositellaan 0- eli neutraalia keskiasentoa. [8.]

Luokka 2. Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvä tuotantolaitteisto: rinnankäyttöaika on rajoitettu automaattisella syötön vaihdolla. Tähän kyseiseen luokkaan kuuluvat tahdistettavalla kontaktori- tai katkaisijavaihtoautomaatiikalla toteutetut tuotantolaitteistot, jotka on tarkoitettu esimerkiksi asiakkaan varavoimaksi verkon häiriö- ja vika-tilanteissa. [8.]

Sähköntuotantolaitoksen ja yleisen jakeluverkon rinnankäyntiaika tulee rajoittaa releautomaatiikalla enintään 5 sekunniksi. Verkon häiriö- tai vikatilanteissa tulee asiakkaan tuotantolaitteistolla varmistetun verkon yhteys jännitteettömään jakeluverkkoon katketa luotettavasti, ennen kuin tuotantolaitteisto saa kytkeytyä ja alkaa syöttää asiakkaan verkkoa. Jakeluverkon jännitteen palatessa asiakkaan tuotantolaitteistolla syötetty verkko saa kytkeytyä tahdistumalla jakeluverkkoon jakeluverkon jännitteen oltua 10 minuuttia normaalissa arvossaan.

Asiakkaan jakelulaitteistoon tulee sisältyä lukittava erotuskytkin, jonka avulla voidaan tarvittaessa estää sähkönsyöttö sähkön jakeluverkkoon. Tieto erotuskytkimen sijainnista tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle. Kytkimen tulee sijaita sellaisessa paikassa, johon jakeluverkon haltijan edustajalla on helppo ja nopea pääsy, esimerkiksi pääkeskuksen pääkytkimen tai mittauskeskuksen läheisyydessä. Erotuskytkin tulee merkitä selkein opastetarroin ja merkinnöin, jotta kytkin on helposti tunnistettavissa. [8.]

Luokka 3a. Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvä tuotantolaitteisto: sähkön siirto on estetty jakeluverkkoon. Sähköntuotantolaitteiston verkkoliittynnälle kohdistuvat sähkötekniset vaatimukset ja mitoitusperiaatteet keskijänniteverkkoon ja pienjänniteverkkoon liittyville tuotantolaitoksille.

Keskijänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitteiston tai samaan liittymispisteeseen, *point of common coupling*, kytkeytyvien tuotantolaitteistojen aiheuttama jännitemuutos saa olla enintään 2,5 % nimellisjännitteestä keskijänniteverkon johtolähdöillä tai keskijänniteverkon kytkennöillä, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita. Tuotantolaitteiston tai useiden tuotantolaitteistojen liittymän tapahtuessa ainoastaan tuotantoa sisältävälle keskijänniteverkon johtolähdölle on suurin kyseisellä johtolähdöllä sallittu jännitemuutos 5 % nimellisjännitteestä.

Pienjänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitoksen tai samaan liittymispisteeseen kytkeytyvien tuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos missä tahansa pienjänniteverkon osassa saa olla enintään 4 % nimellisjännitteestä niillä jakelumuuntamoilla, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita. Tuotantolaitteiston tai useiden tuotantolaitteistojen liittymän tapahtuessa vain tuotannon liittämiseen tarkoitettulle jakelumuuntamolle on suurin pienjänniteverkossa sallittava jännitemuutos 6 % nimellisjännitteestä. Tuotantolaitteistojen tulee verkon rinnankäytön aikana toimia vähintään tehokertoimella $\cos = 0,95$ (ind. tai kap.), ellei muuta ole sovittu.

Sähkönkäyttäjän jakelulaitteisto tulee varustaa lukittavalla erotuskytkimellä, jolla voidaan tarvittaessa estää sähkönsyöttö jakeluverkonhaltijan jakeluverkkoon. Tieto erotuskytkimen sijainnista tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle. Kytkimen tulee sijaita sellaisessa paikassa, johon jakeluverkon haltijan edustajalla on helppo ja nopea pääsy, esimerkiksi pääkeskuksen pääkytkimen tai mittauskeskuksen läheisyydessä. Erotus-

kytkin tulee merkitä selkein opastetarroin ja merkinnöin, jotta kytkin on helposti ja yksiselitteisesti tunnistettavissa.

Jakeluverkon haltijan edustajalla on oikeus erottaa tuotantolaitteisto, mikäli verkon kunnossapito tai korjaustyöt niin edellyttävät. Tuotantolaitteisto voidaan myös erottaa verkosta, jos se ei täytä tuotantolaitteistolle tai liittymälle asetettuja vaatimuksia tai aiheuttaa häiriöitä muualle jakeluverkkoon. Tuotantolaitteiston jakeluverkosta erottamisesta pyritään aina erikseen ilmoittamaan tuottajalle. [8.]

Luokka 3b. Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvät mikrotuotantolaitteistot. Mikrotootantolaitoksilla tarkoitetaan pienjänniteverkkoon liittyviä enintään 16 A/vaihe-nimellisvirran omaavia yksi- tai useampivaiheisia tuotantolaitteistoja, jotka käyvät rinnan yleisen jakeluverkon kanssa. Mikrotootantolaitteisto voi koostua kahdesta tai useammasta rinnankytketystä tuotantoyksiköstä, mutta tässä tapauksessa tuotantolaitteiston kokonaisnimellisvirta tulee olla enintään 16A/vaihe. Mikrotootantolaitteistojen osalta satunnaisen ylijäämä sähköön syöttö jakeluverkkoon sallitaan ilman, että kukaan sähkökauppaa käyvä osapuoli ostaa sitä.

Mikrotootannon jakeluverkkoon liittymien osalta noudatetaan tässä ohjeistuksessa erikseen mainittuja vaatimuksia sekä muiden liittymisvaatimusten osalta mikrotootantoa koskevaa standardia EN 50438. Pienjänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitoksen tai samaan liittymispisteeseen, *point of common coupling*, kytkeytyvien tuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos missä tahansa pienjänniteverkon osassa saa olla enintään 4 % nimellisjännitteestä niillä jakelumuuntamoilla, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita.

Luokka 4. Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvä tuotantolaitteisto. Sähköntuotantolaitteiston verkkoliittymälle kohdistuvat sähkötekniset vaatimukset ja mitoitusperiaatteet keskijänniteverkkoon ja pienjänniteverkkoon liittyville tuotantolaitoksille: Keskijänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitteiston tai samaan liittymispisteeseen, *point of common coupling*, kytkeytyvien tuotantolaitteistojen aiheuttama jännitemuutos saa olla enintään 2,5 % nimellisjännitteestä keskijänniteverkon johtolähdöillä tai keskijänniteverkon kytkemöillä, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita.

Tuotantolaitteiston tai useiden tuotantolaitteistojen liittymän tapahtuessa ainoastaan tuotantoa sisältävälle keskijänniteverkon johtolähdölle on suurin kyseisellä johtolähdöllä sallittu jännitemuutos 5 % nimellisjännitteestä.

Pienjänniteverkkoon liittyvän tuotantolaitoksen tai samaan liittymispisteeseen, *point of common coupling*, kytkeytyvien tuotantolaitosten aiheuttama jännitemuutos missä tahansa pienjänniteverkon osassa saa olla enintään 4 % nimellisjännitteestä niillä jakelumuuntamoilla, joihin on liittyneenä myös muita asiakkaita. Tuotantolaitteiston tai useiden tuotantolaitteistojen liittymän tapahtuessa vain tuotannon liittämiseen tarkoitettulle jakelumuuntamolle on suurin pienjänniteverkossa sallittava jännitemuutos 6 % nimellisjännitteestä. Tuotantolaitteistojen tulee verkon rinnankäytön aikana toimia vähintään tehokertoimella $\cos = 0,95$ (ind. tai kap.), ellei muuta ole sovittu. [8.]

Ohjeet ja vaatimukset eri luokkien tuotantolaitteistoille

Jakeluverkkoliityntään vaikuttaa merkittävästi tuotantolaitoksien koko, tyyppi ja niiden sijainti verkossa. Verkon siirtokyky, häviöt, liittymispisteen sähköinen jäykkyys ja sähkön laadun riittävyyden arvioinnit ovat olennainen osa määrittäessä tuotannon verkkoliityntämahdollisuuksia. Tuotantolaitosten verkkoliityntöjen merkittävimmät sähkötekniset kriteerit esitän seuraavissa luvuissa. [8,s.2]

Tuotantolaitosten verkkoliityntöjen merkittävimpien sähkötekni-
sien kriteerien lisäksi tarvitaan tapauskohtaista tuotantolaitteiston ja jakeluverkon suojausten koordinoimista sekä Fingridin järjestelmätekni-
sien vaatimusten huomioimista ja soveltamista tuotantolaitosten liityntöjä suunniteltaessa. Automaattitahdistusta tulee käyttää pääsääntöisesti tuotantolaitteistojen jakeluverkkoon tahdistuksissa. [8,s.2]

6 MIKROTUOTANTOLAITOKSIEN HAASTEET

Seuraavaksi esitän, mitä mahdollisia haasteita voi ilmentyä mikrotuotantolaitoksen liittämisessä yleiseen sähköjakeluverkkoon sekä mitä verkkoyhtiön ja asiakkaan tulisi huomioida mikrotuotantolaitteiston hankintavaiheessa.

6.1 Verkkoyhtiön velvollisuudet

Verkkoyhtiöllä on velvollisuus vaatia tarvittavat dokumentit sekä myös tarvittavat tiedot liitettävästä laitteistosta. Kyseiset dokumentit ovat lueteltuina alapuolella. Kun kulutuskohteen yhteyteen liittyy tuotantoa, tuotannon osalta tehdään erillinen sopimus. Kulutuksen osalta noudatetaan yleisiä verkkopalveluehtoja (VPE).

Kaikissa liittämiskohdissa, joissa sähkönsyöttöä jakeluverkkoon ei ole estetty, on noudatettava tuotantopaikkoja koskevia liittymis- ja verkkopalveluehtoja. Sähköntuotannon liittymisehtojen (TLE) ja sähköntuotannon verkkopalveluehtojen (TVPE) mukaan asiakkaan on tehtävä tuotantoa koskevat liittymis- ja sähköverkkosopimukset jakeluverkkoyhtiön kanssa, kun asiakas syöttää sähköä yleiseen jakeluverkkoon. Tämä koskee kohteita, joiden syöttämää sähköä myydään markkinoille. [12.]

6.2 Vaaditut tekniset tiedot ja käyttöönottopöytäkirjat verkostonhaltijalle

Verkonhaltija voi vaatia seuraavia tietoa mikrotuotantolaitteistosta mikrotuottajalta. Hänen täytyy ne myös toimittaa verkonhaltijalle.

Mikrotuottajan tulee antaa esimerkiksi seuraavat tiedot ennen liittämistä. Verkonhaltija antaa liittämisluvan muun muassa näiden tietojen perusteella sekä tekee tarvittavia muutoksia muuntopiiriin:

1. Tuotantolaitteen, verkkoon liityntälaitteen ja mahdollisten lisälaitteiden tyyppikilpiin kirjatut tiedot sekä laitteen syöttämä suurin vikavirta
2. Testauspöytäkirja, josta selviää, että tuotantolaitos täyttää esitetyt suojausvaatimukset
3. Tuotantolaitoksen verkkoon kytkeytymistapa (automaattinen/manuaalinen) ja kytkeytymisaika
4. Tieto laitoksen erottamisratkaisusta ja erottimen tiedot

5. Testauspöytäkirjat, joista selviää, että laitteisto täyttää esitettyt EMC- vaatimukset.

Kun laite on kytketty verkkoon, tuottajan tulee toimittaa verkonhaltijalle asianmukainen käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Jos laitos on yksivaiheinen, tulee käydä ilmi, mille vaiheelle se on liitetty. Tuotantolaitosta voidaan käyttää vasta, kun käyttöönottotarkastuspöytäkirja on toimitettu verkonhaltijalle ja verkonhaltija on antanut luvan laitoksen käyttöön. [12.]

Mikrotuotantolaitoksen täytyy myös ”irrota” turvallisesti verkosta, jos verkon jännite tai taajuus ei pysy annetuissa rajoissa. Kyseiset rajat ovat annettu standardeissa *EN 50438* ja ovat esitetty taulukoissa 2 ja 3 tarkemmin.

TAULUKKO 2 Liittymän suojauksen asetteluarvot, kaksiporainen suojaus. Un on nimellisjännite

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite-taso 1	1,5s	Un + 10%
Ylijännite-taso 2	0,15s	Un + 15
Ylijännite-taso 1	5s	Un – 15%
Ylijännite-taso 2	0,15s	Un – 50%
Ylitaajuus	0,2s	51Hz
Alitaajuus	0,5s	48Hz
Loss of Mains*	0,15	

* *Loss of Mains* – suojauksen eli saarekekäyttöestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita.

Mikäli suojauslaitteistolla ei pystytä toteuttamaan kaksia yli- ja alijänniterajoja, tulee silloin taulukon rajoista yhdistellä ainoastaan yhdet rajat. Vaatimukset ovat tällöin tiukemmat, mikäli käytössä on vain yhdet jänniterajat. Kyseiset vaatimukset ovat esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Liittymän suojauksen asetteluarvot, yksiportainen suojaus. Un on nimellisjännite

Parametri	Toiminta-aika	Asetteluarvo
Ylijännite	0,15s	Un + 10%
Alijännite	1,5s	Un – 15%
Ylitaajuus	0,2s	51Hz
Alitaajuus	0,5s	48Hz
Loss of Mains*	0,15s	

* *Loss of Mains*- suojauksen eli saarekekäyttöestosuojauksen tulee käyttää jakeluverkkoon sopivia havaitsemistekniikoita. [12.]

6.3 Loss of Mains -suojaus

Mikrotuotantolaitoksen tulee aina irrota verkosta *Loss of Mains* (LoM) -tilanteessa eli sellaisessa tilanteessa, jossa verkon jännite katoaa. Mikrotuotantolaitos ei saa milloinkaan jäädä yksin syöttämään saareketta.

Osa verkkoliityntälaitteista syöttää verkkoon virtaa pulssimuotoisena eikä vaihtovirtaisena. Tällöin laitteisto ei pysty jäämään saarekekäyttöön vaan tarvitsee verkon jännitettä tahdistuakseen. Kyseisillä laiteratkaisuilla ei tarvita erillistä LoM-suojausta. Laitteiston täytyy kuitenkin tyyppi testata myös LoM-tilanteessa.

Osalla laitteistoista on kuitenkin mahdollista, että saarekkeen kuormat ovat kuitenkin sattumalta hyvin lähellä yhden tai useamman mikrotuotantolaitoksen yhteenlaskettua tuotantoa, ei laitteisto pysty havaitsemaan LoM-tilannetta pelkillä jännite- ja taajuus-releillä, vaan jää kuitenkin syöttämään saareketta. Tämän johdosta tällaiset laitteistot on varustettava LoM-suojauksella. [12.]

6.4 EMC-vaatimukset

Seuraavaksi listasin EMC-vaatimuksia koskevia standardeja, joita mikrotuotantolaitteistoille voidaan soveltaa:

1. Häiriön sieto: EN 61000-6-1 *Electromagnetic compatibility (EMC) Generic standards Immunity for residential, commercial and light-industrial environments*
2. Häiriön päästö: EN 61000-6-3 *Electromagnetic compatibility (EMC) Generic standards Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments* (myös liite A11)
3. Harmoniset yliaallot: EN 61000-3-2 *Limits for harmonic current emissions (equipment input current up to and including 16A per phase)*
4. Nopeat jännitteenmuutokset ja välkyntä: EN 61000-3-3 *Electromagnetic compatibility (EMC). Limits. Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current up to and including 16 A per phase and not subject to conditional connection* [12.]

6.5 Hinnoitteluperiaatteet mikrotuotantolaitoksissa

Sähkömarkkinalainsäädännön muutoksen perusteella alle 16A tuotantolaitoksilta voidaan periä liittymismaksuina vain ne kustannukset, jotka aiheutuvat ainoastaan kyseistä laitosta syöttävän verkon rakentamisesta. Kun samassa kohteessa on sekä kulutusta että tuotantoa, sähkön käytön osalta voidaan periä normaalit liittymismaksut.

Liittymismaksu muodostuu, kun verkonhaltija pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät käyttöpaikat ja sähköntuotantolaitokset. Voidaan siis periä ainoastaan kohdetta itseään palvelevasta verkon osasta aiheutuvat kustannukset. Jos tuotantolaitoksen liittäminen aiheuttaa suojausmuutoksia verkkoon, asiakas vastaa myös näistä kustannuksista. [12.]

Jos kohteen kulutus (verkosta ottaminen) on taas suurempaa kuin kohteen nykyinen tuotanto (verkkoon antaminen), peritään kohteelta normaalit käyttöpaikan liittymismaksut. Pienimuotoiselle tuotannolle pätee yleensä tämä tilanne.

Jos kohteen kulutus (verkosta otto) on pienempää kuin tuotanto (verkkoon anto), tällöin arvioidaan pelkästään kulutusta varten vaadittavan liittymän koko ja peritään vastaavan kokoisen kulutuskohteen mukainen liittymismaksu. Tämän maksun ylittävältä osalta verkkoyhtiö voi periä laskennallisen tuotannon liittymismaksun periaatteita vastaava osa. Edellä mainittu laskennallinen osa määritellään yleensä seuraavanlaisesti: Suuruudeltaan se on asiakkaan tuotantoa vastaavan kokoisen liittymän asiakasta palvelevan verkon rakentamiskulut, josta on vähennetty asiakkaan käyttöä vastaavan kokoisen liittymän rakentamiskulut asiakasta palvelevan verkon osalta. [12.]

Kun kohteeseen vaihdetaan uusi mittari mikrotuotannon takia, verkonhaltija voi laskea kohteelta mittarin vaihdon aiheuttamat kustannukset. Tämä käsittää siis kertaluontoisen mittarointimaksun. Mittarin kuitenkin kustantaa verkkoyhtiö (verkonhaltija), sillä se on verkonhaltijan omaisuutta. Jos mittari on tuntimittarimallia, verkonhaltija voi periä niin sanotun ohjelmointimaksun, eli kaksisuuntaisen mittausominaisuuden käyttöönotosta. Mittaus- ja mittarointimaksuja ei ole perusteltua periä kohteelta, mistä verkkoon siirtyvää sähköä ei myydä markkinoille. [12.]

6.6 Laitoksen erottaminen ja työturvallisuus sähköverkossa

Sähköturvallisuusstandardien mukaan tuotantolaitos tulee olla erotettavissa verkosta ja erotuslaitteessa tulee olla näkyvä ilmaväli ja erottimen käyttömekanismiin tulee olla lukittavissa (SFS6002). Lisäksi jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkentämahdollisuus (SFS6000).

Verkon huolto ja korjaustilanteissa on tärkeää, ettei mikrotuotantolaitos ylläpidä verkon jännitettä. Mikrotuotantolaitoksen oman suojauksen tulee huolehtia siitä, ettei laitos voi syöttää jännitteettömään verkkoon. Kuitenkin standardit vaativat lisäerottimen, jolla voidaan varmistua verkostotöiden aikaisesta asennusturvallisuudesta.

Eroittimenä voidaan käyttää erillistä mikrotuotantolaitoksen yhteyteen asennettua erotinta, jossa on näkyvä ilmaväli tai luotettava mekaaninen asennonosoitus tai kohteen sähkökeskuksen pääsulakkeet voidaan irrottaa. Verkon korjaus- ja huoltotilanteissa tulee varmistua siitä, että erottimia käytetään asianmukaisesti. Erotuslaite voi olla myös verkonhaltijan verkossa ennen liittämiskohtaa oleva kytkin, esimerkiksi pylväsvarokekytkin ilmajohtoverkossa tai kaapelijakokaapissa oleva jonovarokeytkin kaa-

peliverkossa. Tällaisen kytkinlaitteen asentamisesta voidaan laskuttaa mikrotuottajaa vain siinä tapauksessa, ettei tällaista kytkintä olisi verkkoon muuten asennettu ja ettei mikrotuottaja ole asennuttanut asianmukaista erotinta tuotantolaitoksensa yhteyteen. Mikäli halutaan vaihtoehto erottimien käytölle, työt on tehtävä asianmukaisina jännitetöinä tai muuten yhtä turvallisella tavalla. [12.]

6.7 Ennakkotietolomake, toimintamatriisi ja käyttöönottotarkastuspöytäkirja

Työn pohjalta Suur-Savon Sähkössä on tulevaisuudessa vielä tarkoitus tehdä ennakkotietolomake, toimintamatriisi sekä käyttöönottotarkastuspöytäkirja koskien mikrotuotantolaitteistoja. Aikataulutuksen vuoksi emme kerinneet toimeksiantajan kanssa näitä tekemään tähän kyseiseen työhön.

Toimintamatriisin ajatus on kerätä tästä työstä tarvittavat tiedot nykyisille liittymämyyjille, minkä mukaan he etenevät, kun asiakas tarvitsee tietoa mikrotuotannon liittämisestä ja mitä heidän verkonhaltijoina täytyy ottaa huomioon. Ennakkotietolomakkeeseen tarvitsee lisätä ainoastaan mahdollisen mikrotuotantolaitoksen tekniset tiedot, koska sähköliittymästä on tehty jo alustava aikaisempi sopimus verkkoyhtiön kanssa. Käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta tulee käydä ilmi erilaisia mittaustuloksia, esimerkiksi vaaditut poiskytkentäajat, taajuudet, jännite sekä tieto, täyttävätkö mikrotuotantolaitteisto vaaditut EMC-vaatimukset, jotka ovat esitettynä tässä työssä.

Energiateollisuus Ry on ohjeistanut, että enintään 50kVa voimalaitoksesta tulee toimittaa verkonhaltijalle vähintään seuraavat tiedot:

- laitoksen tyyppi, nimellisteho ja nimellisvirta
- liityntälaitteen (vaihtosuuntaajan) tyyppitiedot
- suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat
- tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika) [25]

7 SÄHKÖN PIENTUOTANNON TULEVAISUUS SUOMESSA

Pientuotantoon soveltuvien tuotantolaitteistojen hintojen aleneminen, sähkönkäyttäjien ympäristötietoisuuden lisääntyminen sekä myös sähkön hinnan nousun myötä pientuotannon määrä on nousemassa suomalaisessa sähkönjakeluverkossa huimaa vauhtia. Kiinnostusta pientuotantoon on myös lisännyt huomattavasti hallituksen kaavailema syöttötariffin käyttöönotto Suomessa. Jakeluverkkoon liitettävien tuotantolaitosten määrä on ollut koko ajan nousussa ja jatkaa kasvamistaan.[12]

7.1 Syöttötariffijärjestelmän käyttöönotto Suomessa

Työ- ja elinkeinoministeriö laittoi työryhmän tutkimaan uusiutuvan energian syöttötariffia Suomessa vuonna 2008. Loppuraportti, joka muodostui työryhmässä, luovutettiin elinkeinoministeri Mauri Pekkariselle 29.9.2009. Tuulivoimaa koskettava väliraportti valmistui jo 2.4.2009.

7.1.1 Työryhmän ehdotus

Työryhmä päätyi ehdottamaan, että Suomessa otettaisiin käyttöön markkinaehtoinen takuuhintajärjestelmä eli syöttötariffijärjestelmä. Ehdotuksen piiriin kuuluu tuulivoimalla ja biokaasulla tuotettu sähkö. Ehdotuksen mukaan syöttötariffiin mukaan otettavan tuulivoimalan tai tuulivoimapuiston yhteenlaskettu nimellisteho tulisi olla vähintään 1 MVA ja biokaasulaitoksen nimellisteho vähintään 300 kVA. Ehdotuksen mukaan syöttötariffijärjestelmä ei sovellu tätä pienemmille laitoksille. Syöttötariffijärjestelmän edellytyksenä on, että tuotannon tuntikohtaiset tiedot toimitetaan päivittäin kantaverkkoyhtiölle.

Syöttötariffin mukainen tavoitehinta tuotetulle sähkölle olisi 83,5 €/MWh. Biokaasulla tuotetulle sähkölle maksettaisiin lisätukea 50 €/MWh, kun kyseessä on yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantolaitos, jonka kokonaishyötysuhde on vähintään 50 %. Tariffin kesto aika olisi 12 vuotta.

Työryhmä ehdotti myös, että syöttötariffin ensimmäisinä voimassaolovuosina käyttöön otetuille tuulivoimalaitoksille määriteltäisiin korotettu tavoitehintaa, jonka suuruus olisi 90,2 €/MWh. Näin saataisiin uusien tuulivoimaloiden rakentaminen tehokkaasti

liikkeelle. Syöttötariffin rahoitus hoidettaisiin sähkön kuluttajilta perittävällä maksulla. Käyttöpaikassa maksua kertyisi vuoden 2020 tilanteessa noin 5 € vuodessa, jossa sähkön kulutus on 2 000 kWh vuodessa tavoitehinnan ollessa ehdotettu 83,5 €/MWh. Vastaavasti sähkölämmitteisessä pientalossa maksua kertyisi vuonna 2020 noin 44 € vuodessa, jossa kulutus olisi 18 000 kWh vuodessa. Sähkön kuluttajille tulevaa raskautta pienentäisi lisäksi syöttötariffin avulla tuotetun tuulivoiman ja biokaasun sähkön-tuotannon lisääntyminen.

Syöttötariffijärjestelmällä edistetään investointeja tuulivoimalla ja biokaasulla tuotettuun sähköön ja parannetaan omavaraisuutta sähköntuotannossa. Syöttötariffijärjestelmä myös auttaa saavuttamaan EU:n asettamat ilmastotavoitteet eli vähentämään kasvihuonepäästöjä 20 %:lla vuoden 1990 tasosta sekä lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuus 20 %:iin ja parantamaan energiatehokkuutta 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. [18.]

7.1.2 Käyttöönotettava syöttötariffi

Työ- ja Elinkeinoministeriö julkaisi 24.3.2011 tiedotteen, jonka mukaan laki uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tuotantotuesta tulee Valtioneuvoston asetuksella voimaan 25.3.2011 alkaen. Voimaan astuvan syöttötariffin piiriin kuuluvat ehdotettujen tuulivoimaloiden ja biokaasuvoimaloiden lisäksi voimalat, jotka käyttävät polttoaineena puuta tai metsähaketta. Syöttötariffin ulkopuolelle jääville tuulivoimaloille, metsähakevoimaloille, biokaasuvoimaloille ja vesivoimaloille otetaan käyttöön kiinteä sähkön tuotantotuki.

Tiedotteen mukaan käyntiin saatava tukijärjestelmä parantaa puupohjaisen energiaräaka-aineen kilpailukykyä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Mitä alhaisempi on fossiilisia polttoaineita rasittava päästöoikeuksien hinta, sitä suurempaa tukea maksetaan energiantuotannossa käytettävän puupohjaisen räaka-aineen käytöstä. Tuen määrä on korkeintaan 18 €/MWh.

Syöttötariffi asettaa tuulivoiman tavoitehinnaksi 83,5 €/MWh työryhmän ehdotuksen mukaisesti. Syöttötariffi on voimassa 12 vuotta. Nopeat uudet tuulivoimainvestoijat saavat lisäbonuksen, jolloin tavoitehintana on 105,3 €/MWh, kuitenkin enintään kolmen 35 vuoden ajan. Tuulivoiman osalta tavoitteena on, että Suomen tuulivoimakapasiteet-

ti kohoaisi 2 500 Megawattiin vuoteen 2020 mennessä. Tämä tarkoittaisi noin 6 TWh:n vuosittaista sähköntuotantoa.

Biokaasulla tuotetun sähkön tavoitehintaa on sama kuin tuulivoimalla. Mikäli tuotetun sähkön lisäksi voidaan hyödyntää myös merkittävä osa tuotettavasta lämmöstä, tavoitehintaa on 133,5 €/MWh. Sama 83,5 €/MWh tavoitehintaa kuuluu myös pienimuotoiselle, puupohjaista raaka-ainetta käyttävälle sähkön ja lämmön yhteistuotannolle eli CHP - tuotannolle. Tuen enimmäismäärä on kuitenkin korkeintaan 750 000 euroa vuodessa. Mikäli tavoitteen mukainen uusiutuva energiantuotanto toteutuu, tarvitaan sen tukeen yli 300 miljoonaa euroa vuodessa, mikäli sähkön keskihinta pysyy 50 - 60 eurossa/MWh. Sähkön hinnan noustessa tuen tarve vähenee ja hinnan laskiessa tuen tarve kasvaa.

Syöttötariffijärjestelmään hyväksytään uusia tuulivoimaloita siihen asti, että asetettu tavoitekapasiteetti saavutetaan eli kunnes niiden yhteenlaskettu teho ylittää 2 500 MW:n rajan. Biokaasulla vastaava raja on 19 MW ja puupolttoainevoimaloilla 150 MW. [19]

Lisäksi puupolttoainevoimaloita otetaan mukaan kunnes niiden määrä ylittää viidenkymmenen voimalan rajan. Metsähakevoimaloiden osalta ei ole vastaavia rajoituksia.

8 PÄÄTÄNTÖ

Opinnäytetyöni prosessi alkoi syksyllä 2012. Suur-Savon Sähkö ilmoitti haluavansa kerätä yhteen tarvittavat tiedot mikrotuotannon lisäämiseksi Järvi-Suomen Energian verkkoon. Työ oli erittäin ajankohtainen, koska tällä hetkellä monet asiakkaat ovat osoittaneet mielenkiintoa omaan sähköntuotantoon ja siihen miten he siitä hyötyisivät. Aihe on erittäin laaja, minkä vuoksi keskityin mikrotuotannon liittämiseen ja siihen liittyviin dokumentteihin, mitä verkkoyhtiö tarvitsee ja vaatii.

Suur-Savon Sähköllä oli myös erittäin hyvä konkreettinen aurinkovoimalaan liittyvä tutkimuskohde, mistä sain arvokasta tietoa. Tällöin pystyin vertailemaan ilmoitettuihin teoreettisiin arvoihin, kuinka paljon lukemat poikkeavat todellisessa elämässä. Tutkimustuloksista pystytään saamaan monenlaisia päätelmiä, kuinka kannattavia aurinko

ja tuulivoimalat ovatkaan todellisuudessa katsoessa konkreettisten mittauksien lukemia.

Työn toteuttamisessa en havainnut ongelmia enkä myöskään suurempia kehittämisehdotuksia. Työ oli erittäin mielenkiintoinen ja helposti lähestyttävä. Työn uskotaan olevan hyödyllinen toimeksiantajan kannalta, koska nykyiset sähköliittymämyyjät voivat tulevaisuudessa tarkastaa nopeasti tarvittavat tiedot mikrotuotannon lisäämiseksi yleiseen sähköjakeluverkkoon. Työn haastavin osa oli saada tarvittavat tiedot yhteen pakettiin, koska tietoa on tarjolla erittäin paljon. Työ rajattiinkin koskemaan ainoastaan alle 16 Ampeerin tuotantolaitoksia, joita suurimmaksi osaksi asiakkailla tulee olemaan.

Lopuksi haluan kiittää työni toimeksiantajaa hyvästä ja mielenkiintoisesta aiheesta sekä tuesta koko opinnäytetyöprosessin aikana. Lisäksi tahdon kiittää energianeuvoja Sauli Kuparista Suur-Savon Sähköstä, joka auttoi työni rakenteen suunnittelussa ja neuvoi työtä oikeaan suuntaan sen etenemisen aikana.

LÄHTEET

- [1] Tietoa tuulivoimasta, 2012. Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www-dokumentti. www.tuulivoimayhdistys.fi/node/2](http://www-dokumentti.www.tuulivoimayhdistys.fi/node/2). Ei päivitystietoja. Luettu 26.7.2012.
- [2] Vaaka- ja pystyakseliset turbiinit, 2012. Suomen tuulivoimayhdistys Ry. [www-dokumentti. www.tuulivoimatieto.fi/pystyakseliset](http://www-dokumentti.www.tuulivoimatieto.fi/pystyakseliset). Ei päivitystietoja. Luettu 29.7.2012.
- [3] Tuulivoimaloiden rakenne, 2012. Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. [www-dokumentti. www.tuulivoimatieto.fi/rakenne](http://www-dokumentti.www.tuulivoimatieto.fi/rakenne). Ei päivitystietoja. Luettu 26.7.2012.
- [4] Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus, 2012. Tekes. Matias Uusikylä. www.tekes.fi/imageserver/images/fi_content/picture_bank/energiak/tuulivoimala_0.jpg.
- [5] Tietoa yrityksestä, 2012. Suur-Savon Sähkö Oy. [www-dokumentti. http://www.ssoy.fi/Sivu/Tietoa_yrityksesta](http://www-dokumentti.http://www.ssoy.fi/Sivu/Tietoa_yrityksesta). Ei päivitystietoja. Luettu 17.9.2012.
- [6] Aurinkoenergia, 2012. Aurinkoenergia.fi. [www-dokumentti. http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia](http://www-dokumentti.http://www.aurinkoenergia.fi/Info/23/aurinkoenergia). Ei päivitystietoja. Luettu 28.9.2012.
- [7] Erkkilä, Vesa 2003. Aurinkolämpöopas itserakentajille. Jyväskylä: Rakennusalan kustantajat RAK.
- [8] Sähkön tuotantolaitteistojen liityntäperiaatteet, 2010. Fortum Distribution. pdf-dokumentti. http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/sahkon_tuotantolaitteistojen_liityntaperiaatteet.pdf. Päivitetty 1.7.2010. Luettu 22.10.2012.
- [9] Energia ja Ympäristö, 2013. Energiateollisuus Ry. [www-dokumentti. http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vesivoima](http://www-dokumentti.http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vesivoima) . Ei päivitystietoja. Luettu 29.1.2013

- [10] Vesivoima, 2013. Energiamaailma. www-dokumentti.
<http://energiamaailma.fi/energia-abc/uusiutuvat-energialahteet/vesivoima/>. Päivitetty 2011. Luettu 29.1.2013
- [11] Metsäenergia, 2013. Energiateollisuus Ry. www-dokumentti.
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/metsaenergia>. Ei päivitystietoja. Luettu 29.1.2013
- [12] Energiateollisuuden verkostosuositus mikrotuotannon liittamisestä jakeluverkkoon YA9:09. 2011. Energiateollisuus Ry. www-dokumentti.
<http://energia.fi/julkaisut/mikrotuotannon-liittaminen-sahkonjakeluverkkoon-ya909>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2013
- [13] Sähköntuotannon verkkopalveluehdot. Energiateollisuus Ry. www-dokumentti.
<http://www.leppakoski.fi/tuotteetjapalvelut/sahko/getfile.php?file=22>. Ei päivitystietoja. Luettu 3.2.2013
- [14] Pienimuotoisen tuotannon verkkoon liittäminen. Energiateollisuus Ry. pdf-dokumentti.
http://energia.fi/sites/default/files/Pienimuotoisen_tuotannon_verkkoon_liitt%C3%A4minen_muistio_20081112.pdf. Päivitetty 12.11.2008. Luettu 4.3.2013.
- [15] Työryhmä esittää: Uusiutuvalla energialla tuotetulle sähkölle takuuhinta. 2009. Työ ja Elinkeinoministeriö. Tiedote 206/2009. www-dokumentti.
http://www.tem.fi/index.phtml?98603_m=96778&s=3804. Päivitetty 29.9.2009. Luettu 4.3.2013
- [16] Mikrotuotanto, 2013. Fortum Oyj. www-dokumentti.
<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkon-siirto-ja-liittymat/oma-sahkontuotanto/mikrotuotanto/pages/default.aspx>. Päivitetty 4.3.2013. Luettu 16.3.2013
- [17] Tuulivoimalan rakenne. 2013. Saimaa Gardens Services. www-dokumentti.
http://www.saimaagardens.one1.fi/fi/energiatietoa/tuulivoima/tuulivoimalan_rakenne. Ei päivitystietoja. Luettu 16.3.2013

[18] Työ- ja Elinkeinoministeriö. Tiedote 206/2009, Työryhmä esittää: Uusiutuvalla energialla tuotetulle sähkölle takuuhinta, Helsinki. 2009.

[19] Tiedote 24.3.2011: Uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tukijärjestelmä käyttöön. 2011. Työ- ja Elinkeinoministeriö. www-dokumentti.

www.tem.fi/?89519_m=102404&s=2471. Ei päivitystietoja. Luettu 25.3.2013

[20] Kivitasku on energiatehokas. 2013. Kivitasku, koti joka synnyttää energiaa.

www-dokumentti. <http://www.kivitasku.fi/energiatehokkain>. Ei päivitystietoja. Luettu 26.3.2013

[21] Aurinkoenergiaopas. FinnWind. pdf-dokumentti

<http://finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>. Päivitetty 01.02.2013.

Luettu 3.4.2013

[22] Uusiutuvat energialähteet. Energianet.fi. www-dokumentti.

<http://www.energianet.fi/index.php?page=sahkohuolto&osa=2>. Ei päivitystietoja. Luettu 30.3.2013

[23] Tuulivoimasanasto. STY-Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. www-dokumentti.

<http://www.tuulivoimatieto.fi/sanasto>. Ei päivitystietoja. Ei päivitystietoja. Luettu 30.3.2013

[24] Mikä on aurinkokenno?. Aurinkokennot.fi. www-dokumentti.

<http://www.aurinkokennot.fi/mika-on-aurinkokenno/>. Ei päivitystietoja. Luettu 12.4.2013

[25] Opas sähkön pientuottajalle. Motiva Oy. pdf-dokumentti.

http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf
2012. Luettu 12.4.2013